

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical amplifiers – Test methods –

Part 10-5: Multichannel parameters – Distributed Raman amplifier gain and noise figure

Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai –

Partie 10-5: Paramètres à canaux multiples – Gain et facteur de bruit des amplificateurs Raman répartis



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Optical amplifiers – Test methods –

Part 10-5: Multichannel parameters – Distributed Raman amplifier gain and noise figure

Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai –

Partie 10-5: Paramètres à canaux multiples – Gain et facteur de bruit des amplificateurs Raman répartis

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

S

ICS 33.180.30

ISBN 978-2-8322-1581-4

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope and object.....	5
2 Normative references	5
3 Terms, definitions and abbreviations	6
3.1 Terms and definitions.....	6
3.2 Abbreviated terms.....	7
4 DRA gain and noise figure parameters – Overview	7
5 Apparatus.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Multi-channel signal source.....	10
5.3 Polarization controller	11
5.4 Optical spectrum analyser.....	11
5.5 Optical power meter.....	12
5.6 Tuneable narrowband source	12
5.7 Broadband optical source	12
5.8 Optical connectors and jumpers	12
6 Test sample.....	12
7 Procedure.....	12
7.1 Overview.....	12
7.1.1 Channel on-off gain	12
7.1.2 Pump module channel insertion loss and channel net gain	13
7.1.3 Channel equivalent noise figure (NF).....	13
7.2 Calibration	13
7.2.1 Calibration of optical bandwidth	13
7.2.2 Calibration of OSA power correction factor	15
7.3 Measurement.....	15
7.4 Calculation.....	17
7.4.1 Channel on-off gain	17
7.4.2 Channel net gain	17
7.4.3 Channel equivalent <i>NF</i>	17
8 Test results	17
Annex A (informative) Field measurements versus laboratory measurements	19
Annex B (informative) Pump depletion and channel-to-channel Raman scattering.....	20
Bibliography.....	21
Figure 1 – Distributed Raman amplification in co-propagating (left) and count-propagating (right) configurations	9
Figure 2 – Measurement set-up without a pump module.....	10
Figure 3 – Measurement set-up for counter-propagating configuration	10
Figure 4 – Measurement set-up for co-propagating configuration	10
Figure 5 – Possible implementation of a multi-channel signal source	11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OPTICAL AMPLIFIERS –
TEST METHODS –**
**Part 10-5: Multichannel parameters –
Distributed Raman amplifier gain and noise figure**
FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61290-10-5 has been prepared by 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

The text of this standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
86C/1142/CDV	86C/1233/RVC

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 61290 series, published under the general title *Optical amplifiers – Test methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

OPTICAL AMPLIFIERS – TEST METHODS –

Part 10-5: Multichannel parameters – Distributed Raman amplifier gain and noise figure

1 Scope and object

This part of IEC 61290 applies to distributed Raman amplifiers (DRAs). DRAs are based on the process whereby Raman pump power is introduced into the transmission fibre, leading to signal amplification within the transmission fibre through stimulated Raman scattering. A detailed overview of the technology and applications of DRAs can be found in IEC TR 61292-6.

A fundamental difference between these amplifiers and discrete amplifiers, such as EDFAs, is that the latter can be described using a black box approach with well-defined input and output ports. On the other hand, a DRA is basically a pump module, with the actual amplification process taking place along the transmission fibre. This difference means that standard methods described in other parts of IEC 61290 for measuring amplifier parameters, such as gain and noise figure, cannot be applied without modification.

The object of this standard is to establish uniform requirements for accurate and reliable measurements, using an optical spectrum analyser (OSA), of the following DRA parameters:

- a) channel on-off gain;
- b) pump unit insertion loss;
- c) channel net gain;
- d) channel signal-spontaneous noise figure.

The measurement method is largely based on the interpolated source subtraction (ISS) method using an optical spectrum analyser, as described and elaborated in IEC 61290-10-4, with relevant modifications relating to a DRA.

All numerical values followed by ($\pm$) are suggested values for which the measurement is assured. Other values may be acceptable but should be verified.

NOTE General aspects of noise figure test methods are reported in IEC 61290-3.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

IEC 61291-1, *Optical amplifiers – Part 1: Generic specification*

IEC 61291-4, *Optical amplifiers – Part 4: Multichannel applications – Performance specification template*

IEC TR 61292-4, *Optical amplifiers – Part 4: Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers*

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

3.1.1

Raman pump power

optical power produced by the DRA to enable Raman amplification of signal channels

Note 1 to entry: The Raman pump power shall be at a lower wavelength than the signal channels.

3.1.2

fibre span

length of fibre into which signal channels and Raman pump power are introduced, and Raman amplification of the signal channels takes place via stimulated Raman scattering

3.1.3

co-propagating configuration

forward pumping configuration

configuration whereby the Raman pump power is coupled to the input of the fibre span such that the signal channels and Raman pump power propagate in the same (forward) direction

3.1.4

counter-propagating configuration

backward pumping configuration

configuration whereby the Raman pump power is coupled to the output of the fibre span such that the signal channels and Raman pump power propagate in opposite directions

3.1.5

pump module

module that produces Raman pump power and couples it into the connected fibre span

Note 1 to entry: If the pump module is connected to the input of the fibre span, then both the incoming signal channels and Raman pump power are coupled to the fibre span.

Note 2 to entry: If the pump module is connected to the output of the fibre span, then the pump power is coupled into the fibre span, while the signal channels exiting the fibre span pass through the pump module from the input port to the output port.

Note 3 to entry: In this standard, the convention will be used whereby the input port of the pump module is defined as the port into which the signal channels enter, while the output port is defined as the port through which the signal channels exit. Thus, in co-propagating configuration the Raman pump power exits the pump module from the output port, while in counter-propagating configuration the Raman pump power exits the pump module from the input port.

3.1.6

channel on-off gain

$G_{\text{on-off}}$

ratio of the channel power at the output of the fibre span when the pump module is operational to the channel power at the same point when the pump module is not operational

3.1.7

pump module channel insertion loss

IL

ratio of the channel power at the input of the pump module to the channel power at the output of the pump module

3.1.8**channel net gain** G_{net}

channel on-off gain minus the pump module channel insertion loss, in dB

3.1.9**channel equivalent noise figure** $NF_{\text{sig-ASE,eq}}$

channel noise figure due to signal-spontaneous beat noise (see IEC 61290-3) of an equivalent discrete amplifier placed at the output of the fibre span which has the same channel gain as the DRA channel on-off gain, and generates the same amount of ASE as that generated by the DRA at the output of the fibre span.

3.2 Abbreviated terms

ASE	amplified spontaneous emission
DRA	distributed Raman amplifier
EDFA	Erbium doped fibre amplifier
FWHM	full-width half-maximum
GFF	gain flattening filter
ISS	interpolated source subtraction
NF	noise figure
RBW	resolution bandwidth
OSA	optical spectrum analyser
OSNR	optical signal-to-noise ratio
PCF	power correction factor
SMF	single-mode fibre
SSE	source spontaneous emission
VOA	variable optical attenuator

4 DRA gain and noise figure parameters – Overview

NOTE Unless specifically stated otherwise, all equation and definitions in this clause and onwards are given in linear units, and not dB.

Figure 1 shows the application of DRAs in co-propagating (forward pumping) and counter-propagating (backward pumping) configurations. As a general rule, counter propagating configuration is much more widely used compared to co-propagating configuration.

As with any amplifier, one of the main parameters of interest is the channel gain (see IEC 61291-1 and IEC 61291-4). However, unlike discrete amplifiers, where the channel gain is simply defined as the ratio of the channel power at the output port to the channel power at the input port, with a DRA, the situation is more complex. In principle, the DRA includes both the pump module, which supplies the pump power, and the fibre span, where the actual amplification takes place. Thus, one option for defining channel gain is to define it as the ratio of the channel power at point C (Figure 1) to the channel power at point A, while the pumps are operational. However, since this definition also include the fibre span loss, which is often larger than the gain supplied by the Raman pumps, this definition is not very useful.

A much more useful quantity is the channel on-off gain, which is defined as the ratio of the channel power at the output of the fibre span when the Raman pumps are on to the channel power at the same point but when the pumps are off (see the graphs in Figure 1).

$$G_{\text{on-off}} = \frac{P_{\text{on}}}{P_{\text{off}}} \quad (1)$$

In practice, the channel on-off gain may be measured at any point following the fibre span, for example point C for co-propagating configuration, or points B and C for the counter-propagating configuration.

Another parameter of interest for DRAs is the pump module channel insertion loss, which is defined as the ratio of the channel power at the input port of the pump module to the channel power at the output port of the pump module (points A and B for co-propagating configuration, and points B and C for counter propagating configuration).

$$IL = \frac{P_{\text{pump unit input}}}{P_{\text{pump unit output}}} \quad (2)$$

Since no amplification takes place within the pump module, this is just passive insertion loss, and is not affected by the status of the pumps (on or off).

The channel on-off gain and pump module channel insertion loss can be combined into a single quantity, the channel net gain, which is defined in dB as

$$G_{\text{net}}(\text{dB}) = G_{\text{on-off}}(\text{dB}) - IL(\text{dB}) \quad (3)$$

The channel net gain is particularly useful for counter-propagating configuration, as it may be directly measured in linear units as the ratio of the channel power at point C when the pumps are on to the channel power at point B when the pumps are off. When the pump module includes a gain flattening filter (GFF) to tailor the spectral shape of the Raman gain, then the channel net gain includes the effect of the GFF, as opposed to the channel on-off gain which does not (i.e. the channel on-off gain has a non-flat dependence on the channel wavelength). For the co-propagating configuration, the channel net gain has less physical meaning, and it is more common to separately define the channel on-off gain and pump module channel insertion loss.

Another important parameter relevant to a DRA is the channel equivalent noise figure (NF) due to signal-spontaneous beat noise. This quantity is only relevant to counter-propagating configuration. The channel equivalent NF of a DRA is defined as the NF of an equivalent discrete amplifier placed at the output of the fibre span, which provides the same amount of channel gain as the DRA channel on-off gain, and generates the same amount of amplified spontaneous emission (ASE) as that generated at the fibre span output by the DRA. The channel equivalent noise figure (in dB) due to signal-spontaneous beat noise is given by (see IEC 61290-3):

$$NF_{\text{sig-ASE,eq}} = 10 \log_{10} (\rho_{\text{ASE,B}} / (G_{\text{on-off}} h \nu)) \quad (4)$$

where

$\rho_{\text{ASE,B}}$ is the ASE spectral density at the channel wavelength λ (in both polarization modes) measured at the output of the fibre span (point B in the counter-propagating configuration of Figure 1);

$\nu = c / \lambda$ is the channel frequency;

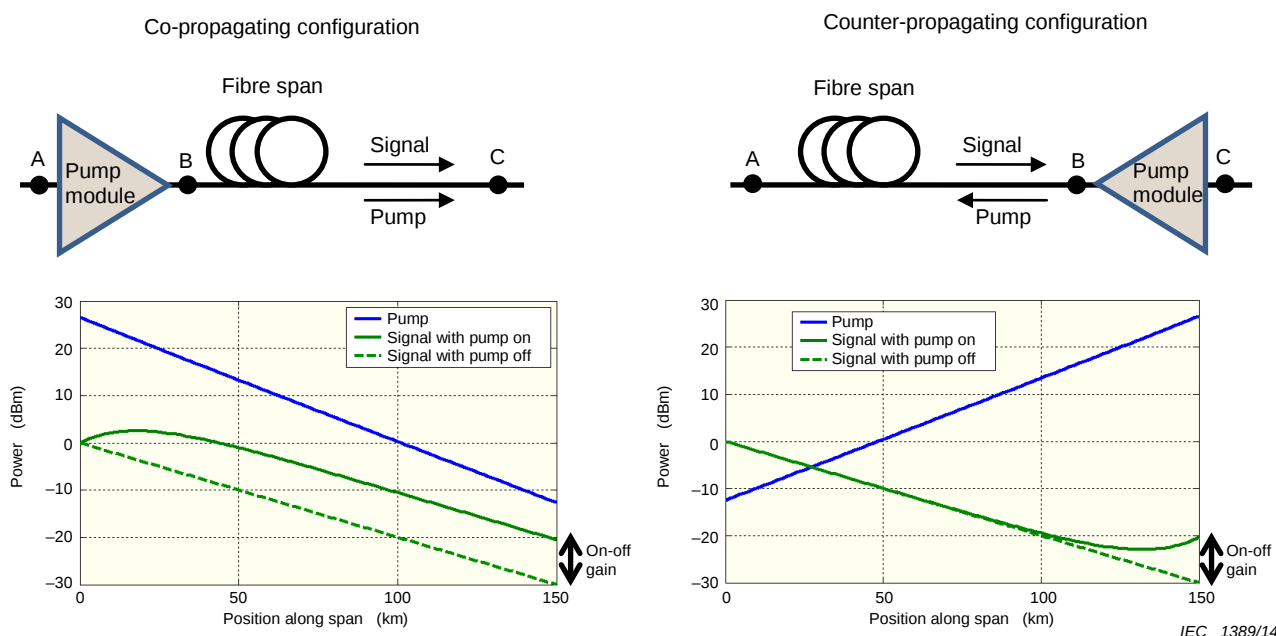
h is Planck's constant.

Using the relation between the channel on-off gain and the channel net gain, it is easily shown that the channel equivalent NF is also given by

$$NF_{\text{sig-ASE,eq}} = 10 \log_{10}(\rho_{\text{ASE,C}} / (G_{\text{net}} h \nu)) \quad (5)$$

where

$\rho_{\text{ASE,C}}$ is now measured at point C.



NOTE The graphs show the evolution of pump and signal along the fibre span.

Figure 1 – Distributed Raman amplification in co-propagating (left) and counter-propagating (right) configurations

When measuring DRA gain and NF, the following issues should be considered:

- The purpose of the measurement: whether the purpose is to measure the DRA performance in relation to a specific span of fibre in the field, or characterize DRA performance with respect to a generic fibre type in the laboratory. This is elaborated in Annex A.
- Whether or not the input signal configuration can affect the measurement due to pump depletion and/or signal-signal Raman scattering. This is elaborated in Annex B.

5 Apparatus

5.1 General

Figures 2 through 4 show the measurement set-up for measurement of DRA parameters in counter-propagating and co-propagating configurations. The various components comprising the set-up (as well as other components used for calibration) are described in the following subclauses.

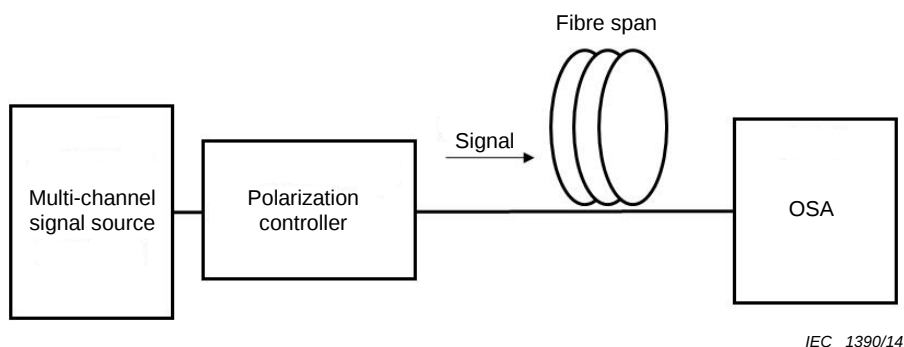


Figure 2 – Measurement set-up without a pump module

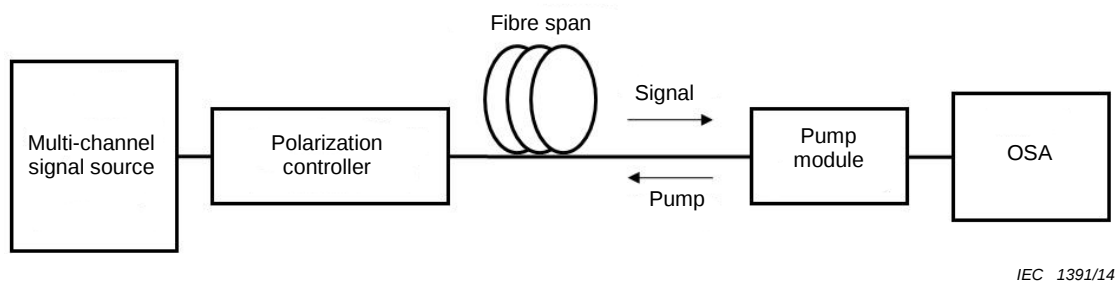


Figure 3 – Measurement set-up for counter-propagating configuration

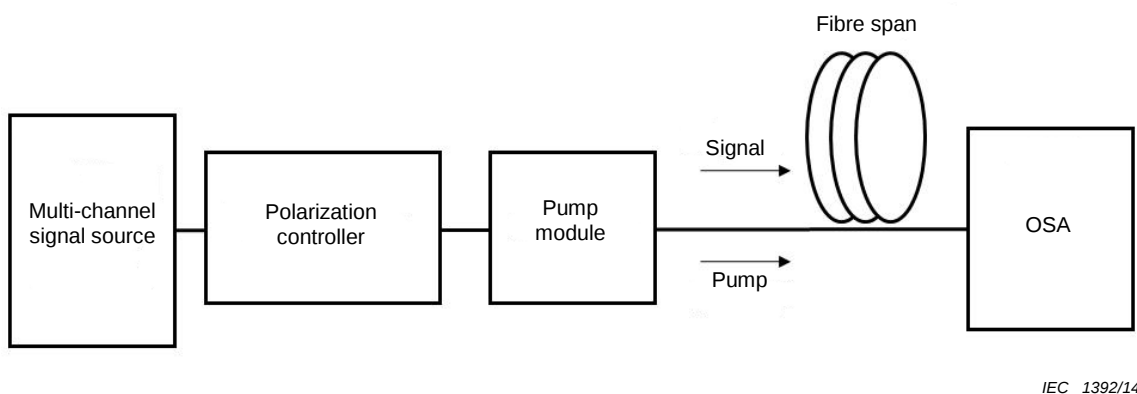


Figure 4 – Measurement set-up for co-propagating configuration

5.2 Multi-channel signal source

Figure 5 shows a possible implementation of a multi-channel signal source. This optical source should consist of n laser sources where n is the number of channels for the test configuration. The full width at half maximum (FWHM) of the output spectrum of each laser source shall be narrower than 0,1 nm ($\pm$)¹ so as not to cause any interference to adjacent channels. The suppression ratio of the side modes of the single-line laser shall be higher than 35 dB ($\pm$). The output power fluctuation shall be less than 0,05 dB ($\pm$), which is more easily attainable with an optical isolator placed at the output port of each source. The wavelength

¹ Suggested value.

accuracy shall be better than $\pm 0,1$ nm ($\pm$) with stability better than $\pm 0,01$ nm ($\pm$). The spontaneous emission power within a 1 nm window surrounding the laser wavelength should be at least 40 dB below the laser output power.

The purpose of the channel combiner is to multiplex all the laser sources onto a single fibre. The channel combiner should have polarization dependent loss better than 0,5 dB ($\pm$), and wavelength dependent loss better than 1 dB ($\pm$). The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB ($\pm$) at each port.

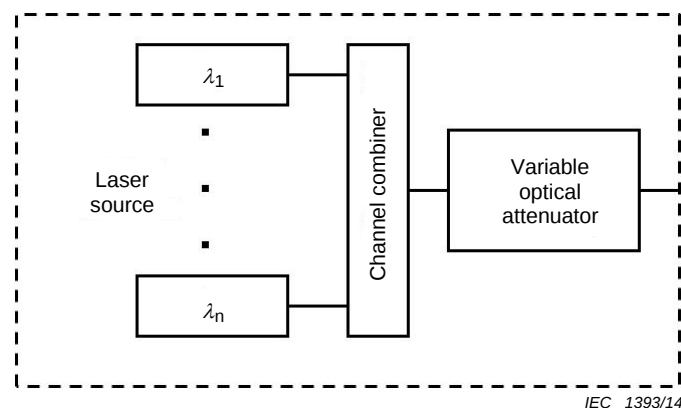


Figure 5 – Possible implementation of a multi-channel signal source

The multi-channel signal source should provide the ability to control the power of each individual laser, so as to achieve a desired power configuration of the channels. This can be achieved either through direct control of each laser source, or by placing a variable optical attenuator (VOA) after each laser source. The multi-channel signal source should preferably also provide the ability to control the power of all the sources simultaneously, e.g. using a variable optical attenuator (VOA) as shown in Figure 5. If one or more VOA is used, then its attenuation range and stability shall be over 40 dB ($\pm$) and better than 0,1 dB ($\pm$), respectively. The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB ($\pm$) at each port. If a VOA is placed after the channel combiner, the wavelength flatness over the full range of attenuation shall be less than 0,5 dB ($\pm$).

5.3 Polarization controller

This device shall be able to convert any state of polarization of a signal to any other state of polarization. The polarization controller may consist of an all-fibre polarization controller or a quarter-wave plate rotatable by a minimum of 90°, followed by a half-wave plate rotatable by a minimum of 180°. The reflectance of this device shall be smaller than –50 dB ($\pm$) at each port. The insertion loss variation of this device shall be less than 0,5 dB ($\pm$). The use of a polarization controller is considered optional, but may be necessary to achieve the desired accuracy for cases when the DRA exhibits significant polarization dependent gain.

5.4 Optical spectrum analyser

The optical spectrum analyser (OSA) shall have polarization sensitivity less than 0,1 dB ($\pm$), stability better than 0,1 dB ($\pm$) and wavelength accuracy better than 0,05 nm ($\pm$). The linearity should be better than 0,2 dB ($\pm$) over the device dynamic range. The reflectance from this device shall be smaller than –50 dB ($\pm$) at its input port. The OSA shall have sufficient dynamic range and support sufficiently small resolution bandwidth (RBW) to measure the noise between channels. For 100 GHz (0,8 nm) channel spacing, the dynamic range shall be greater than 55 dB at 50 GHz (0,4 nm) from the signal.

5.5 Optical power meter

This device, which may be required for the calibration of the OSA, shall have a measurement accuracy better than 0,2 dB ($\pm$), irrespective of the state of polarization, within the operational wavelength bandwidth of the DRA and within the power range from –40 dBm to +20 dBm ($\pm$).

5.6 Tuneable narrowband source

This device, which may be required for the calibration of the OSA, shall be tuneable over the operational wavelength bandwidth of the DRA (for example, 1 530 nm to 1 565 nm). The full width at half maximum (FWHM) of the output spectrum of the narrowband source shall be narrower than 0,1 nm ($\pm$). The wavelength accuracy shall be better than $\pm 0,1$ nm ($\pm$) with stability better than $\pm 0,01$ nm ($\pm$). The output power fluctuation shall be less than 0,1 dB ($\pm$). The output power shall remain stable to within 0,1 dB ($\pm$) while tuning the wavelength over the measurement bandwidth range (typically 10 nm).

5.7 Broadband optical source

This device, which may be required for the calibration of the OSA, shall provide broadband optical power over the operational wavelength bandwidth of the DRA (for example, 1 530 nm to 1 565 nm). The output spectrum shall be flat with less than a 0,1 dB ($\pm$) variation over the measurement bandwidth range (typically 10 nm). The output power fluctuation shall be less than 0,1 dB ($\pm$).

For example, the ASE generated by an optical fibre amplifier with no input signal applied could be used as a broadband optical source.

5.8 Optical connectors and jumpers

Optical connectors and jumpers, which may be used to connect the various components in Figures 2 through 4, should have a connection loss repeatability better than 0,1 dB ($\pm$). Preferably, the reflectance from optical connectors when used shall be smaller than –50 dB ($\pm$). Preferably, jumper length shall be short (< 2 m), and jumpers shall remain undisturbed during the duration of the measurement in order to minimize state of polarization change.

6 Test sample

The DRA under test, which consists of both the pump module and the fibre span, shall operate at nominal operating conditions. Care shall be taken in maintaining the state of polarization of the input light during the measurement. Changes in the polarization state of the input light may result in input optical power changes because of the slight polarization dependency expected from all the used optical components, leading to measurement errors

Due to high Raman pump power typically used in the measurement, laser safety procedures should be implemented and followed as described in IEC 60825-1. In addition, extra care should be taken with respect to connector cleanliness and avoidance of fibre bends, as described in IEC TR 61292-4.

Connection loss between the pump module and fibre span should be minimized as much as possible (preferably $< 0,2$ dB) in order not to affect the measurement results.

7 Procedure

7.1 Overview

7.1.1 Channel on-off gain

For measuring the channel on-off gain, the following parameters shall be measured:

- a) The signal power level for each channel when the pump module is off (i.e. not emitting Raman pump power), using the set-up shown in Figure 3 for counter-propagating configuration, or the set-up shown in Figure 4 for co-propagating configuration.
- b) The signal power level for each channel when the pump module is on (i.e. emitting Raman pump power), using the set-up shown in Figure 3 for counter-propagating configuration, or the set-up shown in Figure 4 for co-propagating configuration.

7.1.2 Pump module channel insertion loss and channel net gain

For measuring the pump module channel insertion loss and the channel net gain, the following parameters shall be measured:

- a) The signal power level for each channel according to the set-up shown in Figure 2.
- b) The signal power level for each channel when the pump sources within the pump module are off (i.e. not emitting Raman pump power), using the set-up shown in Figure 3 for counter-propagating configuration, or the set-up shown in Figure 4 for co-propagating configuration.
- c) The signal power level for each channel when the pump sources within the pump module are on (i.e. emitting Raman pump power), using the set-up shown in Figure 3 for counter-propagating configuration, or the set-up shown in Figure 4 for co-propagating configuration.

7.1.3 Channel equivalent noise figure (NF)

For measuring the channel equivalent NF for counter-propagating configuration, the following parameters should be measured:

- a) The signal power level for each channel using the set-up shown in Figure 2.
- b) The source spontaneous emission (SSE) spectral power density at the wavelength of each channel using the set-up shown in Figure 2.
- c) The signal power level for each channel when the pump module is on (i.e. emitting Raman pump power) using the set-up shown in Figure 3.
- d) The ASE spectral power density at the wavelength of each channel when the pump sources within the pump module are on (i.e. emitting Raman pump power) using the set-up shown in Figure 3.

The noise-equivalent bandwidth of the OSA is required for the measurement of SSE and ASE spectral power density. If not specified by the manufacturer to sufficient accuracy, it may be calibrated using one of the two methods below. The noise-equivalent bandwidth of a wavelength filter is the bandwidth of a theoretical filter with rectangular pass-band and the same transmission at the centre wavelength that would pass the same total noise power as the actual filter when the source power density is constant versus wavelength.

7.2 Calibration

7.2.1 Calibration of optical bandwidth

7.2.1.1 General

The noise-equivalent bandwidth, B_o , can be calibrated using one of the following two methods, based on the use of either a tuneable narrowband optical source or a broadband optical source.

For both methods, the following approximate equation permits converting the optical bandwidth from the wavelength domain, $\Delta\lambda_{BW}(\lambda_s)$, to the frequency domain, $B_o(\lambda_s)$:

$$B_o(\lambda_s) = c \left[\left(\lambda_s - \Delta\lambda_{BW}(\lambda_s)/2 \right)^{-1} - \left(\lambda_s + \Delta\lambda_{BW}(\lambda_s)/2 \right)^{-1} \right] \quad (6)$$

where c is the speed of light in free space.

Once the noise-equivalent bandwidth has been determined as above, the OSA resolution bandwidth should remain unchanged throughout the measurement procedure.

The OSA resolution bandwidth shall be chosen such that it is narrow enough to accurately measure ASE between any two channels of the multi-channel signal source with sufficiently large dynamic range.

7.2.1.2 Calibration using a tuneable narrowband optical source

The steps listed below shall be followed:

- a) Connect the output of a tuneable narrowband optical source directly to the OSA.
- b) Set the OSA centre wavelength to the signal wavelength to be calibrated, λ_S .
- c) Set the OSA span to zero (fixed wavelength).
- d) Set the OSA resolution bandwidth to the desired value, RBW .
- e) Set the narrowband optical source wavelength to λ_i , within the range from $\lambda_S - RBW - \delta$ to $\lambda_S + RBW + \delta$, choosing δ large enough to ensure that the end wavelengths fall outside the OSA filter pass-band.
- f) Record the OSA signal level, $P(\lambda_i)$, in linear units.
- g) Repeat steps e) and f), incrementing the narrowband optical source wavelength through the wavelength range by the tuning interval, $\Delta\lambda$, selected according to the accuracy requirements as described below.
- h) Determine the optical bandwidth according to the following equation:

$$\Delta\lambda_{BW}(\lambda_S) = \sum_i \frac{P(\lambda_i)}{P(\lambda_S)} \Delta\lambda \quad (7)$$

The procedure may be repeated for different signal wavelengths, or for each wavelength of the multichannel source.

The accuracy of this measurement is related to the tuning interval of the narrowband optical source ($\Delta\lambda$) and power flatness over the wavelength range. A tuning interval smaller than 0,1 nm is advisable. The optical power should not vary more than 0,4 dB over the wavelength range.

7.2.1.3 Calibration using a broadband optical source

This method requires that the OSA have a rectangular shape bandwidth-limiting filter, when the resolution bandwidth is at the maximum value. The steps listed below shall be followed:

- a) Connect the output of a narrowband optical source directly to the OSA. If adjustable, as in the case of a tuneable laser, set the wavelength of the source to a specific wavelength, λ_S .
- b) Set the OSA resolution bandwidth to the maximum value, preferably not larger than 10 nm.
- c) Using the OSA, measure the FWHM of the OSA bandwidth by scanning over the narrowband signal, $\Delta\lambda_{RBWmax}$.
- d) Connect the output of a broadband optical source directly to the OSA.
- e) Keep the OSA resolution bandwidth at the maximum value.
- f) Using the OSA, measure the output power level, P_{RBWmax} (in linear units), at the given wavelength, λ_S .

- g) Set the OSA resolution bandwidth to the desired value.
- h) Using the OSA, measure the output power level, P_{RBW} (in linear units), at the given wavelength, λ_s .
- i) Determine the optical bandwidth according to the following equation:

$$\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s) = \frac{P_{\text{RBW}}}{P_{\text{RBWmax}}} \Delta\lambda_{\text{RBWmax}}(\lambda_s) \quad (8)$$

- j) The procedure may be repeated for different signal wavelengths, or for each wavelength of the multichannel signal source.

NOTE It is assumed that the measurement at the maximum resolution bandwidth, $\Delta\lambda_{\text{RBWmax}}$, is accurate.

7.2.2 Calibration of OSA power correction factor

Follow the steps listed below to calibrate the OSA power correction factor (PCF). The power correction factor calibrates the OSA for absolute power.

- a) Adjust the multi-channel signal source to output a single channel at signal wavelength, λ_s . Connect the output of the multi-channel signal source directly to the input of the optical power meter, and measure P_{PM} (in dBm). Alternatively, the set-up in Figure 2 may be used, with the OSA replaced by the optical power meter.
- b) Disconnect the optical power meter, connect the OSA instead, and measure P_{OSA} (in dBm).
- c) Determine the power calibration factor, PCF in dB, according to the following equation:

$$\text{PCF}(\lambda_s) = P_{\text{PM}} - P_{\text{OSA}} \quad (9)$$

For the multi-channel signal source, turn λ_1 on and all other lasers off. Follow steps (a) through (c) above. Then turn λ_2 on and all other lasers off. Repeat until a power calibration factor is obtained for all n wavelengths.

7.3 Measurement

The measurement procedure for all parameters (channel on-off gain, channel net gain, channel equivalent NF) is described in the following steps. If the channel equivalent NF is not required, then steps b), c) and d) may be omitted (if the OSNR is high enough, see NOTE 1 below, then steps j) and k) may also be omitted). If only channel on-off gain is required, then only steps f) through k) need be performed.

- a) Connect the measurement set-up as shown in Figure 2.
- b) Set the resolution bandwidth of the OSA to the calibrated value. Do not change this setting throughout this procedure.
- c) Adjust the relative power levels of each laser of the multichannel source, as well as the absolute power level of all lasers using the VOA, according to the detailed specification. Typically, the lasers shall be set to have equal power output.
- d) Measure the source spontaneous emission power level at wavelengths offset to both sides of each signal wavelength. The wavelength offset should be set to one-half the channel spacing or less. Use linear interpolation to determine the noise power level, $P_{\text{SSE}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$ in dBm, at each signal wavelength. Determine the calibrated source-spontaneous emission power level, $P_{\text{SSE}}(\lambda_s)$ in dBm, for each wavelength, according to the following equation:

$$P_{\text{SSE}}(\lambda_s) = P_{\text{SSE}}^{\text{OSA}}(\lambda_s) + \text{PCF} \quad (10)$$

- e) Measure the power level of each signal, $P_{\text{in}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$ in dBm. Determine the calibrated power level of each input signal wavelength using the following equation:

$$P_{\text{in}}(\lambda_s) = P_{\text{in}}^{\text{OSA}}(\lambda_s) + PCF \quad (11)$$

- f) For counter-propagating configuration, add the pump module to the measurement set-up as shown in Figure 3. For the co-propagating configuration, use Figure 4. Make sure the pumps sources within the pump module are off (i.e. not emitting Raman pump power).
- g) Measure the power level of each signal, $P_{\text{off}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$ in dBm. Determine the calibrated power level of each input signal wavelength using the following equation:

$$P_{\text{off}}(\lambda_s) = P_{\text{off}}^{\text{OSA}}(\lambda_s) + PCF \quad (12)$$

- h) Switch on and set the pump sources within the pump module to the desired pump configuration (pump power for each pump wavelength), according to the detailed specifications.
- i) Measure the power level of each signal, $P_{\text{on}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$ in dBm. Determine the calibrated power level of each input signal wavelength using the following equation:

$$P_{\text{on}}(\lambda_s) = P_{\text{on}}^{\text{OSA}}(\lambda_s) + PCF \quad (13)$$

- j) Measure the uncorrected forward ASE power level at wavelengths offset to both sides of each signal wavelength. The wavelength offset should be set to one-half the channel spacing or less. Use linear interpolation to determine the noise power level, $P_{\text{ASE}}^{\text{OSA}}(\lambda_s)$ in dBm, at each signal wavelength. Determine the calibrated total forward ASE power level, $P_{\text{ASE}}(\lambda_s)$ in dBm, for each channel wavelength, according to the following equation:

$$P_{\text{ASE}}(\lambda_s) = P_{\text{ASE}}^{\text{OSA}}(\lambda_s) + PCF \quad (14)$$

- k) Determine the corrected signal output power in dBm at each channel by subtracting the noise power using the following equation:

$$P_{\text{on}}^{\text{sig}}(\lambda_s) = 10 \log \left(10^{\frac{P_{\text{on}}(\lambda_s)}{10}} - 10^{\frac{P_{\text{ASE}}(\lambda_s)}{10}} \right) \quad (15)$$

NOTE 1 If the OSNR is high enough, then this means that $P_{\text{ASE}}(\lambda_s) \ll P_{\text{on}}(\lambda_s)$, so that step k) is not necessary. Thus, with good accuracy we may write $P_{\text{on}}^{\text{sig}}(\lambda_s) \cong P_{\text{on}}(\lambda_s)$. In general, If the OSNR >20 dB, then the ASE correction factor to the signal power is <0,1 dB, and this simplification may be used.

NOTE 2 If a field measurement is being performed in co-propagating configuration, then the above procedure requires access to both ends of the fibre span, which may be located at far distances one from the other. In this case, it may only be practical to carry out steps f) through k), which yields the on-off gain, assuming the pump module can be controlled remotely. If the channel net gain is also required, then the pump module channel insertion loss may be measured separately.

If it is required to measure polarization dependent channel on-off gain, then steps f) through i) should be repeated for different settings of the polarization controller. Following this, step j) can be performed once, and then step k) can be applied to all results obtained in step i) for different settings of the polarization controller. Finally, the channel on-off gain for different setting of the polarization controller can be calculated as in Equation (16). The polarization dependent gain is then given as the difference in dB between the maximum measured value and the minimum measured value of the channel on-off gain.

7.4 Calculation

7.4.1 Channel on-off gain

The channel on-off gain, $G_{\text{on-off}}(\lambda_s)$ in dB, may be calculated as

$$G_{\text{on-off}}(\lambda_s) = P_{\text{on}}^{\text{sig}}(\lambda_s) - P_{\text{off}}(\lambda_s) \quad (16)$$

7.4.2 Channel net gain

The pump module channel insertion loss, $IL(\lambda_s)$ in dB, may be calculated as

$$IL(\lambda_s) = P_{\text{in}}(\lambda_s) - P_{\text{off}}(\lambda_s) \quad (17)$$

The channel net gain, $G_{\text{net}}(\lambda_s)$ in dB, may be calculated as

$$G_{\text{net}}(\lambda_s) = G_{\text{on-off}}(\lambda_s) - IL(\lambda_s) \quad (18)$$

7.4.3 Channel equivalent NF

Determine the DRA contribution to the total forward ASE power level at each signal wavelength, $P_{\text{ASE}}^{\text{DRA}}(\lambda_s)$ in dBm, by subtracting the source-spontaneous emission power level, which is increased by the channel net gain of the DRA, from the calibrated total ASE power level, according to the following equation:

$$P_{\text{ASE}}^{\text{DRA}}(\lambda) = 10 \log \left(10^{\frac{P_{\text{ASE}}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{G_{\text{net}}(\lambda) + P_{\text{SSE}}(\lambda)}{10}} \right) \quad (19)$$

The channel equivalent NF, $NF_{\text{sig-ASE,eq}}(\lambda_s)$ in dB, may be calculated as

$$NF_{\text{sig-ASE,eq}}(\lambda_s) = P_{\text{ASE}}^{\text{DRA}}(\lambda_s) - G_{\text{net}}(\lambda_s) - 10 \log[h \nu B_0(\lambda_s)] \quad (20)$$

where

the noise equivalent bandwidth $B_0(\lambda_s)$ is given in frequency units (see Equation (5));

h is Planck's constant;

ν is the optical signal frequency.

NOTE The accuracy of this test method is very dependent on the repeatability of the insertion loss due optical connections when they are broken and remade, as well as on the polarization dependence of the OSA.

8 Test results

The following parameters should be presented:

- Arrangement of test set-up (if different from the one specified in Clause 4).
- Measurement technique; here: multichannel interpolation source subtraction.
- Type of multi-channel signal source used.

- d) Configuration of multi-channel signal source (channel wavelengths and power distribution).
- e) OSA noise equivalent bandwidth, B_0 , assuming this parameter does not have significant wavelength dependence. If this is not the case, then it should be presented separately for each channel wavelength.
- f) Ambient temperature (if requested).
- g) Pump source configuration (wavelengths and powers of each Raman pump laser) of the pump module.
- h) Total power of all signal channels at the output of the fibre span when the pump module is disconnected (Figure 2).
- i) The set of channel wavelengths at which the measurement was performed.
- j) For each channel, the channel on-off gain, $G_{\text{on-off}}(\lambda_s)$ in dB.
- k) For each channel, the pump unit channel insertion loss $IL(\lambda_s)$ in dB.
- l) For each channel, the channel net gain, $G_{\text{net}}(\lambda_s)$ in dB.
- m) For each channel, the total forward ASE power level, $P_{\text{ASE}}^{\text{DRA}}(\lambda_s)$ in dBm.
- n) For each channel, the channel signal-spontaneous noise figure, $NF_{\text{sig-ASE,eq}}(\lambda_s)$ in dB

NOTE An error estimate for $NF_{\text{sig-ASE,eq}}(\lambda_s)$ due to subtraction of SSE may also be provided with the results, if this error is larger than 0,1 dB ($\pm$). For details on how to estimate the error, refer to IEC 61290-10-4.

Annex A

(informative)

Field measurements versus laboratory measurements

Since the performance of a DRA specifically depends on the fibre span with which it is measured, it is useful to differentiate between two types of measurements:

- a) Field measurement – The purpose of this measurement is to assess the DRA performance with the specific fibre span deployed in the field. Thus, the measurement is only applicable and relevant to this particular fibre span, characterized by the specific sections of fibre comprising the span, and by any discrete loss points located along the span.
- b) Laboratory measurement – The purpose of this type of measurement is usually to characterize the DRA performance with respect a specific type of fibre, such as standard single mode fibre (SMF). Thus, the fibre span used in the measurement should represent as best as possible a generic fibre span of that type. Preferably, the fibre span should be long enough so that the Raman on-off gain does not depend on the length. For a typical DRA with up to 1 W pump power in the 1 400 nm to 1 500 nm wavelength range, a length of >75 km is sufficient to emulate an infinite length of fibre. Additionally, there should be no significant discrete loss points located along the fibre span, and in particular, the connection loss between the fibre span and the pump module should be as low as possible (preferably <0,2 dB).

Annex B (informative)

Pump depletion and channel-to-channel Raman scattering

In many counter-propagating DRA application, the DRA operates in the small signal regime, where the channel on-off gain does not depend on the power or wavelength of the other channels. In measurements relevant to such applications, care should be taken to launch sufficiently weak channel power into the fibre span, so as to emulate small signal conditions,

However, in other cases the channel on-off gain may depend on the configuration of the other optical channels (power and/or wavelength) transmitted in the fibre span. In this case, it is important to select the channel configuration relevant to the required application of the DRA, and record the channel configuration as part of the measurement conditions.

The channel configuration may be important in two cases:

- a) Pump depletion – this refers to the situation where the total optical power due to all channels at the input to the fibre span is high enough to affect the channel on-off gain. In many applications of counter-propagating DRA, this situation does not occur, since the Raman scattering takes place at the end of the fibre span after the channels have been significantly attenuated. However, it may be relevant to applications involving relatively short fibre spans (<80 km), and/or a large number of channels. On the other hand, pump depletion is almost always relevant to co-propagating DRA applications, since in this case the Raman scattering occurs at the beginning of the fibre span where the channel power is strong.
- b) Channel-to-channel Raman interaction – This refers to the transfer of power from lower wavelength channels to higher wavelength channels due to stimulated Raman scattering. This effect occurs only for high enough channel power, and is typically only relevant to co-propagating DRA. This is due to the fact that the channel powers are already high at the input to the fibre span, and are further amplified by the DRA. Thus, the channel powers along the span may reach a level sufficient to cause significant channel-to-channel Raman interaction. In this case, the Raman on-off gain not only includes the direct effect of the pump power, but also the secondary effect of the channel-channel interaction. Thus, the channel on-off gain depends on both the power and wavelength configuration of all the channels.

Bibliography

IEC 61290-3, *Optical amplifiers – Test methods – Part 3: Noise figure parameters*

IEC 61290-10-4, *Optical amplifiers – Test methods – Part 10-4: Multichannel parameters – Interpolated source subtraction method using an optical spectrum analyzer*

IEC TR 61292-6, *Optical amplifiers – Part 6: Distributed Raman amplification*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
1 Domaine d'application et objet	25
2 Références normatives	25
3 Termes, définitions et termes et abréviations	26
3.1 Termes et définitions	26
3.2 Termes abrégés	27
4 Gain d'un DRA et paramètres du facteur de bruit – Vue d'ensemble	28
5 Appareillage	30
5.1 Généralités	30
5.2 Source de signal multicanaux	31
5.3 Appareil de commande de la polarisation	32
5.4 Analyseur de spectre optique	32
5.5 Appareil de mesure de la puissance optique	32
5.6 Source réglable à bande étroite	33
5.7 Source optique à large bande	33
5.8 Connecteurs optiques et jarretières	33
6 Échantillon d'essai	33
7 Procédure	33
7.1 Présentation	33
7.1.1 Gain du canal on-off	33
7.1.2 Affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage et gain du canal net	34
7.1.3 Facteur de bruit (NF) équivalent du canal	34
7.2 Étalonnage	35
7.2.1 Étalonnage de la largeur de bande optique	35
7.2.2 Étalonnage du facteur de correction de puissance de l'ASO	36
7.3 Mesures	37
7.4 Calculs	38
7.4.1 Gain du canal on-off	38
7.4.2 Gain du canal net	38
7.4.3 <i>NF</i> (Facteur de bruit) équivalent du canal	39
8 Résultats des essais	39
Annexe A (informative) Mesures sur site par rapport aux mesures en laboratoire	41
Annexe B (informative) Appauvrissement de pompage et dispersion Raman canal à canal	42
Bibliographie	43
Figure 1 – Amplification Raman répartie dans des configurations de copropagation (à gauche) et de contre-propagation (à droite)	30
Figure 2 – Montage de mesure sans module de pompage	30
Figure 3 – Montage de mesure pour la configuration de contre-propagation	31
Figure 4 – Montage de mesure pour la configuration de copropagation	31
Figure 5 – Mise en œuvre possible d'une source de signal multicanaux	32

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

AMPLIFICATEURS OPTIQUES –
MÉTHODES D'ESSAI –Partie 10-5: Paramètres à canaux multiples –
Gain et facteur de bruit des amplificateurs Raman répartis

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61290-10-5 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
86C/1142/CDV	86C/1233/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62190, publiées sous le titre général *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

AMPLIFICATEURS OPTIQUES – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 10-5: Paramètres à canaux multiples – Gain et facteur de bruit des amplificateurs Raman répartis

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC 61290 s'applique aux amplificateurs Raman répartis (DRA). Les DRA sont fondés sur un processus tel qu'une puissance de pompage Raman est introduite dans la fibre de transmission, conduisant à une amplification du signal au sein de la fibre de transmission par dispersion Raman stimulée. On peut trouver une vue d'ensemble détaillée de la technique et des applications des DRA dans l'IEC TR 61292-6.

Une différence fondamentale entre ces amplificateurs et les amplificateurs discrets, tels que les amplificateurs à fibres dopées à l'erbium (EDFA) est que ces derniers peuvent être décrits en utilisant une approche par boîte noire avec des ports d'entrée et de sortie bien définis. D'autre part, un DRA est fondamentalement un module de pompage, le processus d'amplification réel s'effectuant le long de la fibre de transmission. Cette différence signifie que les méthodes normalisées décrites dans les autres parties de l'IEC 61290 pour mesurer les paramètres des amplificateurs, tels que le gain et le facteur de bruit, ne peuvent pas être appliquées sans modification.

L'objet de la présente norme est d'établir des exigences uniformes afin d'obtenir des mesures précises et fiables des paramètres de DRA suivants, au moyen d'un analyseur de spectre optique (ASO):

- a) gain du canal en on-off;
- b) affaiblissement d'insertion de l'unité de pompage;
- c) gain du canal net;
- d) facteur de bruit signal/émission spontanée du canal.

La méthode de mesure est largement fondée sur la méthode de soustraction de source interpolée (ISS) utilisant un analyseur de spectre optique, telle que décrite et élaborée dans l'IEC 61290-10-4 avec des modifications appropriées relatives à un DRA.

Toutes les valeurs numériques suivies de (±) sont des valeurs suggérées pour lesquelles la mesure est assurée. D'autres valeurs peuvent être acceptables, mais il convient qu'elles soient vérifiées.

NOTE Les aspects généraux des méthodes d'essai du facteur de bruit sont consignés dans l'IEC 61290-3.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60825-1, *Sécurité des appareils à laser – Partie 1: Classification des matériels et exigences*

IEC 61291-1, *Amplificateurs optiques – Partie 1: Spécification générique*

IEC 61291-4, *Amplificateurs optiques – Partie 4: Applications multicanaux – Modèle de spécification de fonctionnement*

IEC TR 61292-4, *Optical amplifiers – Part 4: Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers*
(disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions et termes et abréviations

3.1 Termes et définitions

3.1.1

puissance de pompage Raman

puissance optique produite par le DRA pour permettre une amplification Raman des canaux de signal

Note 1 à l'article: La puissance de pompage Raman doit se situer à une longueur d'onde inférieure à celle des canaux de signal.

3.1.2

segment de fibre

longueur de la fibre dans laquelle les canaux de signal et la puissance de pompage Raman sont introduits et où l'amplification Raman des canaux de signal s'effectue par l'intermédiaire de la dispersion Raman stimulée

3.1.3

configuration de copropagation

configuration de pompage direct

configuration telle que la puissance de pompage Raman est couplée à l'entrée du segment de fibre de telle sorte que les canaux de signal et la puissance de pompage Raman se propagent dans la même direction (vers l'avant)

3.1.4

configuration de contre-propagation

configuration de pompage arrière

configuration telle que la puissance de pompage Raman est couplée à la sortie du segment de fibre de telle sorte que les canaux de signal et la puissance de pompage Raman se propagent dans des directions opposées

3.1.5

module de pompage

module produisant une puissance de pompage Raman et la couplant dans le segment de fibre connecté

Note 1 à l'article: Si le module de pompage est relié à l'entrée du segment de fibre, alors à la fois les canaux de signal entrant et la puissance de pompage Raman sont couplés au segment de fibre.

Note 2 à l'article: Si le module de pompage est relié à la sortie du segment de fibre, la puissance de pompage est alors couplée dans le segment de fibre, tandis que les canaux de signal sortant du segment de fibre traversent le module de pompage du port d'entrée vers le port de sortie.

Note 3 à l'article: Dans la présente norme, on utilisera une convention telle que le port d'entrée du module de pompage est défini comme le port dans lequel entrent les canaux de signal, tandis que le port de sortie est défini comme le port à travers lequel sortent les canaux de signal. Ainsi, dans la configuration de copropagation, la puissance de pompage Raman sort du module de pompage par le port de sortie, tandis que dans la configuration de contre-propagation, la puissance de pompage Raman sort du module de pompage par le port d'entrée.

3.1.6**gain de canal on-off** $G_{\text{on-off}}$

rapport entre la puissance du canal à la sortie du segment de fibre lorsque le module de pompage est en fonctionnement sur la puissance du canal au même point lorsque le module de pompage n'est pas en fonctionnement

3.1.7**affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage** IL

rapport entre la puissance du canal à l'entrée du module de pompage et la puissance du canal à la sortie du module de pompage

3.1.8**gain de canal net** G_{net}

gain du canal on-off moins l'affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage, en dB

3.1.9**facteur de bruit équivalent du canal** $NF_{\text{sig-ASE,eq}}$

facteur de bruit du canal dû au bruit de battement spontané du signal (voir l'IEC 61290-3) d'un amplificateur discret équivalent placé à la sortie du segment de fibre ayant le même gain de canal que le gain du canal on-off du DRA, et qui génère la même quantité d'ESA que celle qui est générée par le DRA à la sortie du segment de fibre

3.2 Termes abrégés

Terme	Terme en français	Equivalent en anglais
ASE	émission spontanée amplifiée	amplified spontaneous emission
DRA	amplificateur Raman réparti	distributed Raman amplifier
EDFA	amplificateur à fibre dopée à l'erbium	Erbium doped fibre amplifier
FWHM	largeur à mi-hauteur	full-width at half-maximum
GFF	filtre d'uniformisation de gain	gain flattening filter
ISS	soustraction de la source interpolée	interpolated source subtraction
NF	facteur de bruit	noise figure
RBW	largeur de bande de résolution	resolution bandwidth
OSA	analyseur de spectre optique	optical spectrum analyser
OSNR	rapport signal sur bruit optique	optical signal-to-noise ratio
PCF	facteur de correction de puissance	power correction factor
SMF	fibre unimodale	single-mode fibre

Terme	Terme en français	Equivalent en anglais
SSE	émission spontanée de la source	source spontaneous emission
VOA	affaiblisseur optique variable	variable optical attenuator

4 Gain d'un DRA et paramètres du facteur de bruit – Vue d'ensemble

NOTE Sauf mention contraire indiquée par ailleurs, toutes les équations et définitions de cet article et des suivantes sont données en unités linéaires, et non en dB.

La Figure 1 représente l'application des DRA dans des configurations de copropagation (pompage direct) et de contre-propagation (pompage arrière). En règle générale, la configuration de contre-propagation est bien plus largement utilisée que la configuration de copropagation.

Comme avec n'importe quel amplificateur, l'un des principaux paramètres intéressant est le gain du canal (voir IEC 61291-1 et IEC 61291-4). Toutefois, à la différence des amplificateurs discrets, lorsque le gain du canal est simplement défini comme le rapport entre la puissance du canal au port de sortie et la puissance du canal au port d'entrée, avec un DRA, la situation est plus complexe. En principe, le DRA comporte à la fois le module de pompage, qui fournit la puissance de pompage, et le segment de fibre, où s'effectue l'amplification réelle. Ainsi, une option pour définir le gain du canal consiste à le définir comme le rapport entre la puissance du canal au point C (Figure 1) et la puissance du canal au point A, pendant que le pompage est opérationnel. Toutefois, puisque cette définition comporte également l'affaiblissement du segment de fibre, qui est souvent plus grand que le gain fourni par les pompes Raman, cette définition n'est pas très utile.

Une quantité beaucoup plus utile est le gain du canal on-off, qui est défini comme le rapport entre la puissance du canal à la sortie du segment de fibre lorsque le pompage Raman est actif, et la puissance du canal au même point mais lorsque le pompage est arrêté (voir les courbes de la Figure 1).

$$G_{\text{on-off}} = \frac{P_{\text{on}}}{P_{\text{off}}} \quad (1)$$

En pratique, le gain du canal on-off peut être mesuré en tout point le long du segment de fibre, par exemple au point C, pour la configuration de copropagation, ou aux points B et C pour la configuration de contre-propagation.

Un autre paramètre d'intérêt pour les DRA et l'affaiblissement d'insertion du module de pompage du canal, qui est défini comme le rapport entre la puissance du canal au port d'entrée du module de pompage et la puissance du canal au port de sortie du module de pompage (points A et B pour la configuration de copropagation, et points B et C pour la configuration de contre-propagation).

$$IL = \frac{P_{\text{pump unit input}}}{P_{\text{pump unit output}}} \quad (2)$$

Puisqu'aucune amplification ne s'effectue à l'intérieur du module de pompage, il ne s'agit que d'un affaiblissement d'insertion passif et il n'est pas affecté par l'état du pompage (marche ou arrêté).

Le gain du canal on-off et l'affaiblissement d'insertion du module de pompage du canal peuvent être combinés en une quantité unique, le gain du canal net, qui est défini en dB par

$$G_{\text{net}}(\text{dB}) = G_{\text{on-off}}(\text{dB}) - IL(\text{dB}) \quad (3)$$

Le gain du canal net est particulièrement utile pour la configuration de contre-propagation, car il peut être mesuré directement en unités linéaires par le rapport entre la puissance du canal au point C lorsque le pompage est en marche, et la puissance du canal au point B lorsque le pompage est arrêté. Lorsque le module de pompage comporte un filtre d'uniformisation de gain (GFF) pour adapter la forme spectrale du gain Raman, le gain du canal net comporte alors l'effet du GFF, par opposition au gain du canal on-off qui ne le comporte pas (c'est-à-dire que le gain du canal on-off possède une dépendance non uniforme sur la longueur d'onde de canal). Pour la configuration de copropagation, le gain du canal net possède une signification physique moindre, et il est plus courant de définir séparément le gain du canal on-off et l'affaiblissement d'insertion du module de pompage du canal.

Un autre paramètre important concernant un DRA et le facteur de bruit (NF) équivalent du canal dû au bruit de battement spontané du signal. Cette quantité ne concerne que la configuration en contre-propagation. Le NF équivalent du canal d'un DRA est défini comme le NF d'un amplificateur discret équivalent placé à la sortie du segment de fibre, qui fournit la même quantité de gain du canal que le gain du canal on-off du DRA, et génère la même quantité d'émission spontanée amplifiée (ESA) que celle qui est générée à la sortie du segment de fibre par le DRA. Le facteur de bruit équivalent du canal (en dB) dû au bruit de battement spontané du signal est donné par (voir IEC 61290-3):

$$NF_{\text{sig-ASE,eq}} = 10 \log_{10} (\rho_{\text{ASE,B}} / (G_{\text{on-off}} h \nu)) \quad (4)$$

où

$\rho_{\text{ASE,B}}$ est la densité spectrale d'ESA à la longueur d'onde du canal λ (dans les deux modes de polarisation) mesurée à la sortie du segment de fibre (point B dans la configuration de contre-propagation de la Figure 1);

$\nu = c / \lambda$ est la fréquence du canal;

h est la constante de Planck.

En utilisant la relation entre le gain du canal on-off et le gain du canal net, on montre facilement que le NF équivalent du canal est également donné par

$$NF_{\text{sig-ASE,eq}} = 10 \log_{10} (\rho_{\text{ASE,C}} / (G_{\text{net}} h \nu)) \quad (5)$$

où

$\rho_{\text{ASE,C}}$ est maintenant mesuré au point C.

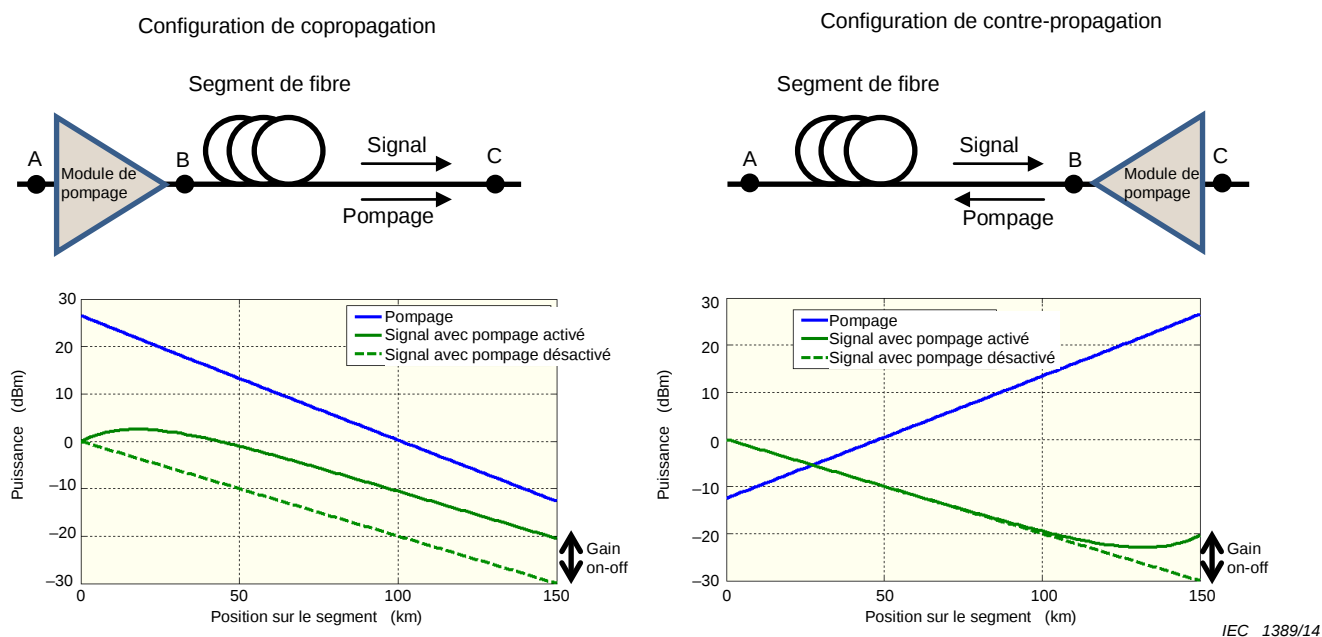


Figure 1 – Amplification Raman répartie dans des configurations de copropagation (à gauche) et de contre-propagation (à droite)

Lorsqu'on mesure le gain et le NF du DRA, il convient de tenir compte des points suivants:

- Le but de la mesure: si le but est de mesurer la performance du DRA en relation avec un segment de fibre spécifique sur site ou de caractériser la performance du DRA par rapport à un type de fibre générique en laboratoire. Ceci est élaboré à l'Annexe A.
- Si la configuration du signal d'entrée peut ou non affecter la mesure en raison de l'appauvrissement du pompage et/ou de la dispersion Raman signal à signal. Ceci est élaboré à l'Annexe B.

5 Appareillage

5.1 Généralités

Les Figures 2 à 4 représentent le montage de mesure pour la mesure des paramètres du DRA dans les configurations de contre-propagation et de copropagation. Les divers composants comprenant le montage (ainsi que les autres composants utilisés pour l'étalonnage) sont décrits dans les paragraphes suivants.

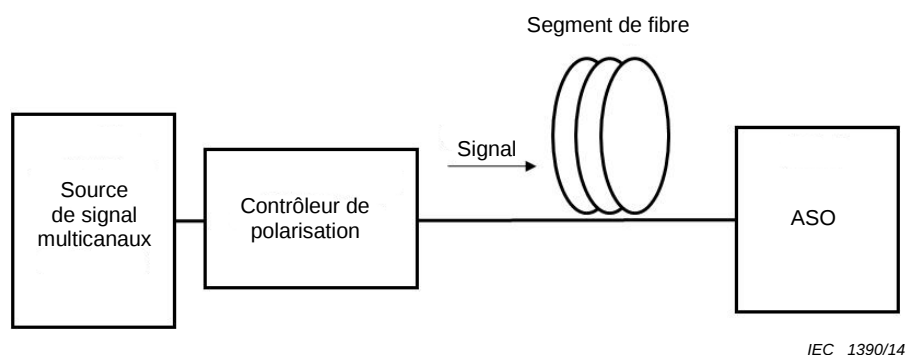


Figure 2 – Montage de mesure sans module de pompage

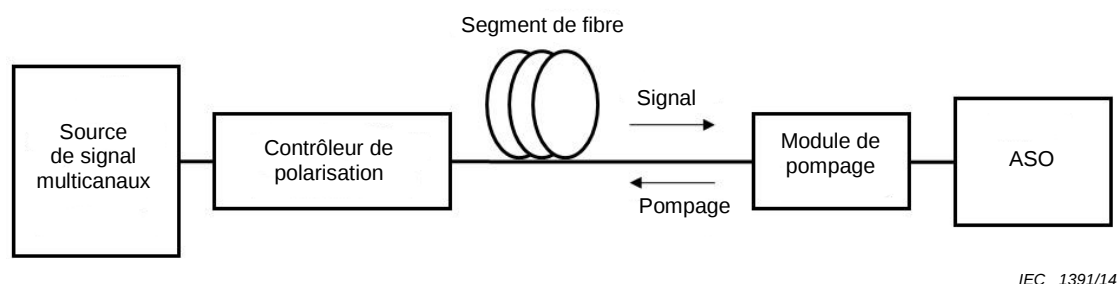


Figure 3 – Montage de mesure pour la configuration de contre-propagation

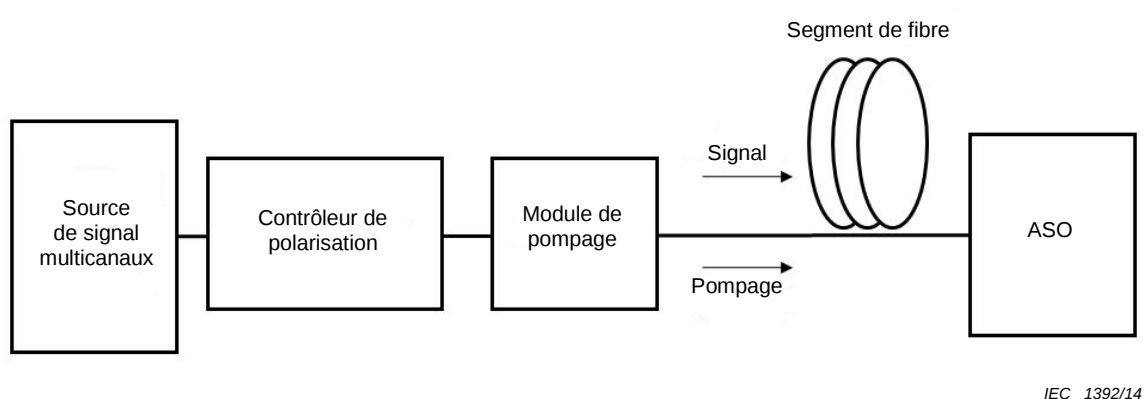


Figure 4 – Montage de mesure pour la configuration de copropagation

5.2 Source de signal multicanaux

La Figure 5 représente une mise en œuvre possible d'une source de signal multicanaux. Il convient que cette source optique consiste en n sources laser, où n est le nombre de canaux dans la configuration d'essai. La largeur à mi-hauteur (FWHM) du spectre de sortie de chaque source laser doit être plus étroite que $0,1 \text{ nm } (\pm)^1$ afin de ne pas créer d'interférences avec les canaux adjacents. Le taux de suppression des modes latéraux des lasers à raie unique doit être supérieur à $35 \text{ dB } (\pm)$. La fluctuation de la puissance de sortie doit être inférieure à $0,05 \text{ dB } (\pm)$, ce qui est plus facilement accessible avec un isolateur optique placé au niveau du port de sortie de chaque source. La précision de la longueur d'onde doit être meilleure que $\pm 0,1 \text{ nm } (\pm)$, avec une stabilité meilleure que $\pm 0,01 \text{ nm } (\pm)$. Il convient que la puissance d'émission spontanée dans une fenêtre de 1 nm encadrant la longueur d'onde laser soit au moins inférieure de 40 dB à la puissance de sortie laser.

Le but du combineur de canaux est de multiplexer toutes les sources laser sur une seule fibre. Il convient que le combineur de canaux ait un affaiblissement dépendant de la polarisation meilleur que $0,5 \text{ dB } (\pm)$, et un affaiblissement dépendant de la longueur d'onde meilleur que $1 \text{ dB } (\pm)$. La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à $-50 \text{ dB } (\pm)$ à chaque port.

¹ Valeur suggérée.

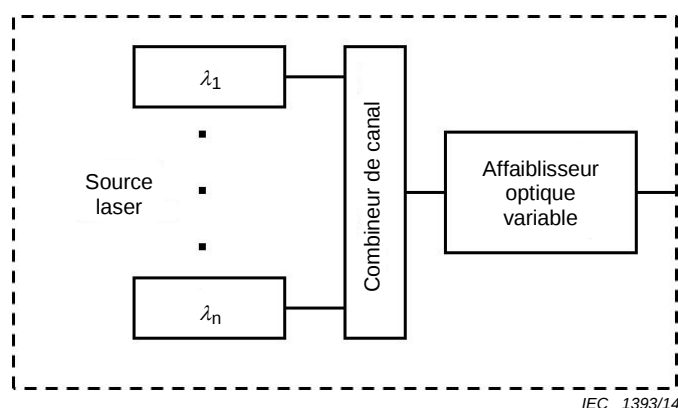


Figure 5 – Mise en œuvre possible d'une source de signal multicanaux

Il convient que la source de signal multicanaux donne la possibilité de commander la puissance de chaque laser individuel, de façon à obtenir une configuration de puissance désirée des canaux. Ceci peut être obtenu, soit par une commande directe de chaque source laser, soit en plaçant un affaiblisseur optique variable (VOA) derrière chaque source laser. Il convient que la source de signal multicanaux donne également de préférence la possibilité de commander la puissance de toutes les sources simultanément, par exemple, en utilisant un affaiblisseur optique variable (VOA) comme représenté à la Figure 5. Si l'on utilise un ou plusieurs VOA, alors sa plage d'affaiblissement et sa stabilité doivent être, respectivement, supérieure à 40 dB (±) et être meilleure que 0,1 dB (±). La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à –50 dB (±) à chaque port. Si le VOA est placé derrière le combinant de canaux, l'uniformité de la longueur d'onde sur la totalité de la plage d'affaiblissement doit être inférieure à 0,5 dB (±).

5.3 Appareil de commande de la polarisation

Cet appareil doit être en mesure de convertir tout état de polarisation d'un signal en n'importe quel autre état de polarisation. Par exemple, le contrôleur de polarisation peut être constitué d'un contrôleur de polarisation toutes fibres ou d'une lame quart d'onde rotative d'un minimum de 90°, suivie d'une lame demi-onde rotative d'un minimum de 180°. La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à –50 dB (±) à chaque port. La variation de perte d'insertion de ce dispositif doit être inférieure à 0,5 dB (±). L'utilisation d'un appareil de commande de polarisation est considérée comme facultative, mais peut être nécessaire pour atteindre la précision souhaitée dans le cas où le DRA possède un gain dépendant de la polarisation de façon significative.

5.4 Analyseur de spectre optique

L'analyseur de spectre optique (ASO) doit avoir une sensibilité à la polarisation inférieure à 0,1 dB (±), une stabilité meilleure que 0,1 dB (±) et une précision en longueur d'onde meilleure que 0,05 nm (±). Il convient que la linéarité soit meilleure que 0,2 dB (±) sur la plage dynamique du dispositif. La réflectance de ce dispositif doit être inférieure à –50 dB (±) à son port d'entrée. L'ASO doit avoir une plage dynamique suffisante et prendre en charge une largeur de bande de résolution (RBW) suffisamment petite pour mesurer le bruit entre les canaux. Pour un espacement de canal de 100 GHz (0,8 nm), la plage dynamique doit être supérieure à 55 dB à 50 GHz (0,4 nm) du signal.

5.5 Appareil de mesure de la puissance optique

Ce dispositif, qui peut être nécessaire pour l'étalonnage de l'ASO, doit avoir une précision de mesure meilleure que 0,2 dB (±), quel que soit l'état de la polarisation, dans la largeur de bande de longueur d'onde de fonctionnement du DRA et dans la plage de puissance allant de –40 dBm à +20 dBm (±).

5.6 Source réglable à bande étroite

Ce dispositif, qui peut être nécessaire pour l'étalonnage de l'ASO, doit pouvoir être réglé sur la largeur de bande de longueur d'onde de fonctionnement du DRA (par exemple, 1 530 nm à 1 565 nm). La largeur à mi-hauteur (FWHM) du spectre de sortie de la source à bande étroite doit être plus étroite que 0,1 nm ($\pm$). La précision sur la longueur d'onde doit être meilleure que $\pm 0,1$ nm ($\pm$), avec une stabilité meilleure que $\pm 0,01$ nm ($\pm$). La fluctuation de la puissance de sortie doit être inférieure à 0,1 dB ($\pm$). La puissance de sortie doit rester stable à moins de 0,1 dB ($\pm$) lorsqu'on règle la longueur d'onde sur la plage de largeur de bande de mesure (généralement 10 nm).

5.7 Source optique à large bande

Ce dispositif, qui peut être nécessaire pour l'étalonnage de l'ASO, doit fournir une puissance optique à large bande sur la largeur de bande de longueur d'onde de fonctionnement du DRA (par exemple, 1 530 nm à 1 565 nm). Le spectre de sortie doit être plat avec une variation de moins de 0,1 dB ($\pm$) sur la plage de largeur de bande de mesure (généralement 10 nm). La fluctuation de la puissance de sortie doit être inférieure à 0,1 dB ($\pm$).

Par exemple, l'ESA générée par un amplificateur à fibres optiques sans signal d'entrée appliqué peut être utilisée en tant que source optique à large bande.

5.8 Connecteurs optiques et jarretières

Il convient que les connecteurs optiques et les jarretières, pouvant être utilisés pour relier les divers composants des Figures 2 à 4, aient une répétabilité d'affaiblissement de liaison meilleure que 0,1 dB ($\pm$). De préférence, la réflectance des connecteurs optiques lorsqu'ils sont utilisés doit être inférieure à -50 dB ($\pm$). De préférence, la longueur d'une jarretière doit être courte (< 2 m), et les jarretières doivent rester non perturbées pendant la durée de la mesure pour réduire au minimum l'état de changement de polarisation.

6 Échantillon d'essai

Le DRA en essai, constitué à la fois du module de pompage et du segment de fibre, doit fonctionner dans les conditions de fonctionnement nominales. Des précautions doivent être prises pour maintenir l'état de polarisation du rayonnement lumineux en entrée pendant la mesure. Des modifications de l'état de polarisation du rayonnement lumineux en entrée peuvent entraîner des modifications de puissance optique à l'entrée du fait de la légère dépendance à la polarisation attendue de tous les composants optiques utilisés, conduisant à des erreurs de mesure.

En raison de la puissance de pompage Raman importante généralement utilisée dans la mesure, il convient de mettre en œuvre et de suivre les procédures de sécurité relative au laser décrites dans l'IEC 60825-1. De plus, il convient d'apporter un soin supplémentaire à la propreté des connecteurs et d'éviter de couder les fibres, comme décrit dans l'IEC TR 61292-4.

Dans la mesure du possible, il convient de réduire au minimum l'affaiblissement de liaison entre le module de pompage et le segment de fibre (de préférence $< 0,2$ dB) afin de ne pas affecter les résultats de mesure.

7 Procédure

7.1 Présentation

7.1.1 Gain du canal on-off

Pour mesurer le gain du canal on-off, les paramètres suivants doivent être mesurés:

- a) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal lorsque le module de pompage est arrêté (c'est-à-dire qu'il n'émet pas de puissance de pompage Raman), en utilisant le montage représenté à la Figure 3 pour la configuration de contre-propagation, ou le montage représenté à la Figure 4 pour la configuration de copropagation.
- b) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal lorsque le module de pompage est activé (c'est-à-dire qu'il émet une puissance de pompage Raman), en utilisant le montage représenté à la Figure 3 pour la configuration de contre-propagation, ou le montage représenté à la Figure 4 pour la configuration de copropagation.

7.1.2 Affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage et gain du canal net

Pour mesurer l'affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage et le gain du canal net, les paramètres suivants doivent être mesurés:

- a) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal avec le montage représenté à la Figure 2.
- b) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal lorsque les sources de pompage situées dans le module de pompage sont arrêtées (c'est-à-dire qu'elles n'émettent pas de puissance de pompage Raman), en utilisant le montage représenté à la Figure 3 pour la configuration de contre-propagation, ou le montage représenté à la Figure 4 pour la configuration de copropagation.
- c) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal lorsque les sources de pompage situées dans le module de pompage sont activées (c'est-à-dire qu'elles émettent une puissance de pompage Raman), en utilisant le montage représenté à la Figure 3 pour la configuration de contre-propagation, ou le montage représenté à la Figure 4 pour la configuration de copropagation.

7.1.3 Facteur de bruit (NF) équivalent du canal

Pour mesurer le NF équivalent du canal pour la configuration de contre-propagation, il convient de mesurer les paramètres suivants:

- a) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal en utilisant le montage représenté à la Figure 2.
- b) La densité de puissance spectrale d'émission spontanée de la source (SSE) à la longueur d'onde de chaque canal en utilisant le montage représenté à la Figure 2.
- c) Le niveau de puissance du signal pour chaque canal lorsque le module de pompage est activé (c'est-à-dire qu'il émet une puissance de pompage Raman), en utilisant le montage représenté à la Figure 3.
- d) La densité de puissance spectrale d'ESA à la longueur d'onde de chaque canal lorsque les sources de pompage situées dans le module de pompage sont activées (c'est-à-dire qu'elles émettent une puissance de pompage Raman) en utilisant le montage représenté à la Figure 3.

La largeur de bande de bruit équivalente de l'ASO est nécessaire pour la mesure de la SSE et de la densité de puissance de l'ESA. Si elle n'est pas spécifiée avec une précision suffisante par le fabricant, elle peut être étalonnée au moyen de l'une des deux méthodes indiquées ci-dessous. La largeur de bande de bruit équivalente d'un filtre de longueur d'onde est la largeur de bande d'un filtre théorique passe-bande rectangulaire et la même caractéristique de transmission à la longueur d'onde centrale que celle qui transmettrait la même puissance de bruit totale que le filtre en place, quand la densité de puissance de la source est constante en fonction de la longueur d'onde.

7.2 Étalonnage

7.2.1 Étalonnage de la largeur de bande optique

7.2.1.1 Généralités

La largeur de bande équivalente de bruit, B_o , peut être étalonnée en utilisant l'une des deux méthodes suivantes, en se fondant sur l'utilisation, soit d'une source optique à bande étroite ajustable, soit d'une source optique à large bande.

Pour les deux méthodes, l'équation approximative suivante permet de convertir la largeur de bande optique du domaine des longueurs d'onde, $\Delta\lambda_{BW}(\lambda_s)$, au domaine des fréquences, $B_o(\lambda_s)$:

$$B_o(\lambda_s) = c \left[(\lambda_s - \Delta\lambda_{BW}(\lambda_s)/2)^{-1} - (\lambda_s + \Delta\lambda_{BW}(\lambda_s)/2)^{-1} \right] \quad (6)$$

où c est la vitesse de la lumière en espace libre.

Lorsque la largeur de bande équivalente de bruit a été déterminée comme ci-dessus, il convient que la largeur de bande de résolution de l'ASO reste inchangée durant toute la procédure de mesure.

La largeur de bande de résolution de l'ASO doit être choisie de telle sorte qu'elle soit suffisamment étroite pour mesurer précisément l'ESA entre deux canaux quelconques de la source de signal multicanaux avec une plage dynamique suffisamment grande.

7.2.1.2 Étalonnage utilisant une source optique à bande étroite réglable

Les étapes énumérées ci-dessous doivent être suivies:

- Connecter la sortie d'une source optique à bande étroite réglable directement à l'ASO.
- Régler la longueur d'onde centrale de l'ASO à la longueur d'onde du signal à étalonner, λ_s .
- Régler le segment de l'ASO à zéro (longueur d'onde fixe).
- Régler la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur désirée, RBW .
- Régler la longueur d'onde de la source optique à bande étroite à λ_i , à l'intérieur de la plage $\lambda_s - RBW - \delta$ à $\lambda_s + RBW + \delta$, en choisissant δ suffisamment grand pour s'assurer que les longueurs d'onde aux extrémités se trouvent en dehors du filtre passe-bande de l'ASO.
- Enregistrer le niveau de signal de l'ASO, $P(\lambda_i)$, en unités linéaires.
- Répéter les étapes e) et f), en incrémentant la longueur d'onde de la source optique à bande étroite dans la plage de longueurs d'onde de l'intervalle d'ajustement, $\Delta\lambda$, déterminé en fonction des exigences de précision telles que décrites ci-dessous.
- Déterminer la largeur de bande optique conformément à l'équation suivante:

$$\Delta\lambda_{BW}(\lambda_s) = \sum_i \frac{P(\lambda_i)}{P(\lambda_s)} \Delta\lambda \quad (7)$$

Cette procédure peut être répétée pour différentes longueurs d'onde du signal, ou pour chaque longueur d'onde de la source multicanaux.

La précision de cette mesure est liée à l'intervalle d'accord de la source optique à bande étroite ($\Delta\lambda$) et à l'uniformité de puissance sur la plage de longueurs d'onde. Un intervalle d'accord inférieur à 0,1 nm est recommandé. Il convient que la puissance optique ne varie pas de plus de 0,4 dB sur la plage de longueurs d'onde.

7.2.1.3 Étalonnage utilisant une source optique à large bande

Cette méthode nécessite que l'ASO possède un filtre à limitation de largeur de bande de forme rectangulaire, lorsque la largeur de bande de résolution est à sa valeur maximale. Les étapes énumérées ci-dessous doivent être suivies:

- Connecter la sortie d'une source optique à bande étroite directement à l'ASO. Si elle est réglable, comme dans le cas d'un laser réglable, régler la longueur d'onde de la source à une longueur d'onde spécifique, λ_s .
- Régler la largeur de bande de résolution d'ASO à la valeur maximale, de préférence à une valeur inférieure à 10 nm.
- Au moyen de l'ASO, mesurer la FWHM de la largeur de bande de l'ASO par balayage du signal à bande étroite, $\Delta\lambda_{\text{RBWmax}}$.
- Connecter la sortie d'une source optique à large bande directement à l'ASO.
- Garder la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur maximale.
- Au moyen de l'ASO, mesurer le niveau de puissance de sortie, P_{RBWmax} (en unités linéaires), à la longueur d'onde donnée, λ_s .
- Régler la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur désirée.
- Au moyen de l'ASO, mesurer le niveau de puissance de sortie, P_{RBW} (en unités linéaires), à la longueur d'onde donnée, λ_s .
- Déterminer la largeur de bande optique conformément à l'équation suivante:

$$\Delta\lambda_{\text{BW}}(\lambda_s) = \frac{P_{\text{RBW}}}{P_{\text{RBWmax}}} \Delta\lambda_{\text{RBWmax}}(\lambda_s) \quad (8)$$

- Cette procédure peut être répétée pour différentes longueurs d'onde du signal, ou pour chaque longueur d'onde de la source multicanaux.

NOTE On estime que les mesures avec la largeur de bande de résolution maximale, $\Delta\lambda_{\text{RBWmax}}$, sont précises.

7.2.2 Étalonnage du facteur de correction de puissance de l'ASO

Suivre les étapes énumérées ci-dessous pour étalonner le facteur de correction de puissance (PCF) de l'ASO. Le facteur de correction de puissance étalonne l'ASO en vue d'une puissance absolue.

- Régler la source du signal multicanaux pour fournir en sortie un canal unique à la longueur d'onde de signal, λ_s . Relier la sortie de la source du signal multicanaux directement à l'entrée de l'appareil de mesure de la puissance optique, et mesurer P_{PM} (en dBm). On peut utiliser en variante le montage de la Figure 2, l'ASO étant remplacé par l'appareil de mesure de la puissance optique.
- Déconnecter l'appareil de mesure de la puissance optique, le remplacer par l'ASO et mesurer P_{OSA} (en dBm).
- Déterminer le facteur d'étalonnage de la puissance, PCF en dB, conformément à l'équation suivante:

$$\text{PCF}(\lambda_s) = P_{\text{PM}} - P_{\text{OSA}} \quad (9)$$

Dans le cas d'une source de signal multicanaux, alimenter λ_1 et éteindre tous les autres lasers. Suivre les étapes (a) jusqu'à (c) ci-dessus. Puis alimenter λ_2 et éteindre tous les autres lasers. Répéter de façon à obtenir le facteur d'étalonnage de puissance pour toutes les n longueurs d'onde.

7.3 Mesures

Le mode opératoire de mesure pour tous les paramètres (gain du canal on-off, gain du canal net, NF équivalent du canal) est décrit dans les étapes suivantes. Si le NF équivalent du canal n'est pas exigé, les étapes b), c) et d) peuvent alors être omises (si le rapport signal sur bruit optique (OSNR)) est suffisamment grand, voir la NOTE 1 ci-dessous, les étapes j) et k) peuvent également être omises). Si seul le gain du canal on-off est requis, il est alors nécessaire de n'exécuter que les étapes f) à k).

- a) Raccorder le montage de mesure comme représenté à la Figure 2.
- b) Régler la largeur de bande de résolution de l'ASO à la valeur étalonnée. Ne pas changer ce réglage pendant toute la procédure.
- c) Régler les niveaux de puissance relative de chaque laser de la source multicanaux, ainsi que le niveau de puissance absolue de tous les lasers en utilisant l'affaiblisseur optique variable (VOA), conformément à la spécification détaillée. Les lasers doivent généralement être réglés de sorte que leurs sorties soient de puissance égale.
- d) Mesurer le niveau de puissance de l'émission spontanée de la source en débordant de chaque côté de la plage de longueurs d'onde du signal. Il convient que le décalage de longueur d'onde soit réglé à la moitié de l'espace du canal, ou moins. Déterminer le niveau de puissance du bruit $P_{SSE}^{OSA}(\lambda_s)$, en dBm, par interpolation linéaire, à chaque longueur d'onde du signal. Déterminer le niveau de puissance d'émission spontanée de la source étalonnée, $P_{SSE}(\lambda_s)$ en dBm, pour chaque longueur d'onde, conformément à l'équation suivante:

$$P_{SSE}(\lambda_s) = P_{SSE}^{OSA}(\lambda_s) + PCF \quad (10)$$

- e) Mesurer le niveau de puissance de chaque signal $P_{IN}^{OSA}(\lambda_s)$, en dBm. Déterminer le niveau de puissance étalonné de chaque longueur d'onde du signal d'entrée au moyen de l'équation suivante:

$$P_{in}(\lambda_s) = P_{in}^{OSA}(\lambda_s) + PCF \quad (11)$$

- f) Pour la configuration de contre-propagation, ajouter le module de pompage au montage de mesure, comme représenté à la Figure 3. Pour la configuration de copropagation, utiliser la Figure 4. S'assurer que les sources de pompage dans le module de pompage sont désactivées (c'est-à-dire qu'elles n'émettent pas de puissance de pompage Raman).
- g) Mesurer le niveau de puissance de chaque signal, $P_{off}^{OSA}(\lambda_s)$, en dBm. Déterminer le niveau de puissance étalonné de chaque longueur d'onde du signal d'entrée au moyen de l'équation suivante:

$$P_{off}(\lambda_s) = P_{off}^{OSA}(\lambda_s) + PCF \quad (12)$$

- h) Mettre en route et régler les sources de pompage dans le module de pompage selon la configuration de pompage désirée (puissance de pompage pour chaque longueur d'onde de pompage), conformément aux spécifications détaillées.
- i) Mesurer le niveau de puissance de chaque signal $P_{on}^{OSA}(\lambda_s)$, en dBm. Déterminer le niveau de puissance étalonné de chaque longueur d'onde du signal d'entrée au moyen de l'équation suivante:

$$P_{on}(\lambda_s) = P_{on}^{OSA}(\lambda_s) + PCF \quad (13)$$

- j) Mesurer le niveau de puissance directe non corrigée de l'ESA en débordant de chaque côté de la plage de longueurs d'onde du signal. Il convient que le décalage de longueur d'onde soit réglé à la moitié de l'espace du canal, ou moins. Déterminer le niveau de

puissance du bruit $P_{ASE}^{OSA}(\lambda_s)$, en dBm, par interpolation linéaire, à chaque longueur d'onde du signal. Déterminer le niveau de puissance directe total étalonné de l'ESA, $P_{ASE}(\lambda_s)$ en dBm, pour chaque longueur d'onde du canal, conformément à l'équation suivante:

$$P_{ASE}(\lambda_s) = P_{ASE}^{OSA}(\lambda_s) + PCF \quad (14)$$

- k) Déterminer la puissance de sortie du signal corrigée en dBm pour chaque canal en soustrayant la puissance de bruit au moyen de l'équation suivante:

$$P_{on}^{sig}(\lambda_s) = 10 \log \left(10^{\frac{P_{on}(\lambda_s)}{10}} - 10^{\frac{P_{ASE}(\lambda_s)}{10}} \right) \quad (15)$$

NOTE 1 Si l'OSNR est suffisamment grand, alors cela signifie que $P_{ASE}(\lambda_s) \ll P_{on}(\lambda_s)$, de sorte que l'étape k) n'est pas nécessaire. On peut ainsi écrire avec une bonne précision $P_{on}^{sig}(\lambda_s) \cong P_{on}(\lambda_s)$. En général, si l'OSNR > 20 dB, alors, le facteur de correction de l'ESA pour la puissance du signal est <0,1 dB, et cette simplification peut être utilisée.

NOTE 2 Si une mesure sur site est effectuée en configuration de copropagation, le mode opératoire ci-dessus nécessite alors un port aux deux extrémités du segment de fibre, qui peuvent être situées à des distances éloignées l'une de l'autre. Dans ce cas, il peut seulement être possible d'exécuter les étapes f) à k), ce qui donne le gain on-off, en faisant l'hypothèse que le module de pompage peut être commandé à distance. Si le gain du canal net est également requis, alors l'affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage peut être mesuré séparément.

S'il est nécessaire de mesurer le gain du canal on-off dépendant de la polarisation, alors il convient de répéter les étapes f) à i) pour différents réglages du contrôleur de polarisation. L'étape j) peut ensuite être exécutée une fois, et l'étape k) peut alors être appliquée à tous les résultats obtenus à l'étape i) pour différents réglages du contrôleur de polarisation. Enfin, le gain du canal on-off pour différents réglages du contrôleur de polarisation peut être calculé selon l'Équation (16). Le gain dépendant de la polarisation est alors donné par la différence en dB entre la valeur maximale mesurée et la valeur minimale mesurée du gain du canal on-off.

7.4 Calculs

7.4.1 Gain du canal on-off

Le gain du canal on-off, $G_{on-off}(\lambda_s)$ en dB peut être calculé comme suit

$$G_{on-off}(\lambda_s) = P_{on}^{sig}(\lambda_s) - P_{off}(\lambda_s) \quad (16)$$

7.4.2 Gain du canal net

L'affaiblissement d'insertion du canal du module de pompage, $IL(\lambda_s)$ en dB, peut être calculé comme suit

$$IL(\lambda_s) = P_{in}(\lambda_s) - P_{off}(\lambda_s) \quad (17)$$

Le gain du canal net, $G_{net}(\lambda_s)$ en dB peut être calculé comme suit

$$G_{net}(\lambda_s) = G_{on-off}(\lambda_s) - IL(\lambda_s) \quad (18)$$

7.4.3 NF (Facteur de bruit) équivalent du canal

Déterminer la contribution du DRA au niveau de puissance directe totale de l'ESA à chaque longueur d'onde de signal, $P_{ASE}^{DRA}(\lambda_s)$ en dBm, en soustrayant le niveau de puissance d'émission spontanée de la source auquel s'ajoute le gain du canal net du DRA, du niveau de puissance d'ESA total étalonné, selon l'équation suivante:

$$P_{ASE}^{DRA}(\lambda) = 10 \log \left(10^{\frac{P_{ASE}(\lambda)}{10}} - 10^{\frac{G_{net}(\lambda) + P_{SSE}(\lambda)}{10}} \right) \quad (19)$$

Le NF équivalent du canal, $NF_{sig-ASE,eq}(\lambda_s)$ en dB peut être calculé comme suit

$$NF_{sig-ASE,eq}(\lambda_s) = P_{ASE}^{DRA}(\lambda_s) - G_{net}(\lambda_s) - 10 \log[h \nu B_0(\lambda_s)] \quad (20)$$

où

la largeur de bande équivalente de bruit $B_0(\lambda_s)$ est donnée en unités de fréquence (voir l'Équation 5));

h est la constante de Planck;

ν est la fréquence du signal optique.

NOTE La précision de cette méthode d'essai dépend largement de la répétabilité de l'affaiblissement d'insertion dû aux connexions optiques lorsqu'elles sont interrompues et rétablies ainsi que de la dépendance à la polarisation de l'ASO.

8 Résultats des essais

Il convient de présenter les paramètres suivants:

- Disposition du montage d'essai (s'il est différent de celui spécifié dans l'Article 4).
- Technique de mesure; ici: soustraction de la source d'interpolation multicanaux.
- Type de source de signal multicanaux utilisée.
- Configuration de la source de signal multicanaux (longueurs d'onde du canal et distribution de puissance).
- Largeur de bande équivalente de bruit de l'ASO, B_0 , en supposant que ce paramètre ne présente pas de dépendance significative vis-à-vis de la longueur d'onde. Si tel n'est pas le cas, il convient alors de le présenter séparément pour chaque longueur d'onde de canal.
- Température ambiante (si demandée).
- Configuration de la source de pompage (longueurs d'onde et puissances de chaque laser de pompage Raman) du module de pompage.
- Puissance totale de tous les canaux du signal à la sortie du segment de fibre lorsque le module de pompage est déconnecté (Figure 2).
- Réglage des longueurs d'onde du canal auxquelles la mesure a été effectuée.
- Pour chaque canal, gain du canal on-off, $G_{on-off}(\lambda_s)$ en dB.
- Pour chaque canal, affaiblissement d'insertion du canal de l'unité de pompage $IL(\lambda_s)$ en dB.
- Pour chaque canal, gain du canal net, $G_{net}(\lambda_s)$ en dB.

- m) Pour chaque canal, niveau de puissance directe totale de l'ESA, $P_{ASE}^{DRA}(\lambda_s)$ en dBm.
- n) Pour chaque canal, facteur de bruit spontané du signal du canal, $NF_{sig-ASE,eq}(\lambda_s)$ en dB.

NOTE Une estimation d'erreur de $NF_{sig-ASE,eq}(\lambda_s)$ due à la soustraction de la SSE (émission spontanée de la source, «Source spontaneous emission») peut également être fournie avec les résultats, si cette erreur est supérieure à 0,1 dB (±). Pour des détails relatifs à la façon d'estimer l'erreur, se référer à l'IEC 61290-10-4.

Annexe A **(informative)**

Mesures sur site par rapport aux mesures en laboratoire

Puisque la performance d'un DRA dépend de façon spécifique du segment de fibre avec lequel il est mesuré, il est utile de faire la différence entre les deux types de mesure:

- a) **Mesure sur site** – Le but de cette mesure est d'évaluer la performance du DRA avec le segment de fibre spécifique déployé sur le site. Ainsi, la mesure est seulement applicable et pertinente pour ce segment de fibre particulier, caractérisée par les sections spécifiques de fibre comprenant le segment et par n'importe quel point d'affaiblissement discret situé le long du segment.
- b) **Mesure en laboratoire** – Le but de ce type de mesure est habituellement de caractériser la performance du DRA par rapport à un type spécifique de fibre, tel qu'une fibre unimodale normale (SMF). Ainsi, il convient que le segment de fibre utilisé dans la mesure représente le mieux possible un segment de fibre générique de ce type. Il convient de préférence que le segment de fibre soit suffisamment long pour que le gain Raman on-off ne dépende pas de la longueur. Pour un DRA type avec une puissance de pompage allant jusqu'à 1 W dans la plage de longueurs d'onde de 1 400 nm à 1 500 nm, une longueur > 75 km est suffisante pour émuler une longueur de fibre infinie. De plus, il convient qu'il n'y ait aucun point d'affaiblissement discret significatif situé le long du segment de fibre et en particulier, il convient que l'affaiblissement de liaison entre le segment de fibre et le module de pompage soit aussi faible que possible (de préférence < 0,2 dB).

Annexe B (informative)

Appauvrissement de pompage et dispersion Raman canal à canal

Dans un grand nombre d'applications de DRA à contre-propagation, le DRA fonctionne dans le régime à petits signaux, où le gain du canal on-off ne dépend pas de la puissance ou de la longueur d'onde des autres canaux. Dans les mesures concernant ces applications, il convient de prendre soin d'envoyer une puissance de canal suffisamment faible dans le segment de fibre pour émuler des conditions en petits signaux.

Toutefois, dans les autres cas, le gain du canal on-off peut dépendre de la configuration des autres canaux optiques (puissance et/ou longueur d'onde) transmis dans le segment de fibre. Dans ce cas, il est important de choisir la configuration de canal correspondant à l'application requise du DRA et d'enregistrer la configuration du canal en tant que partie des conditions de mesure.

La configuration du canal peut être importante dans deux cas:

- a) Appauvrissement de pompage – ceci se réfère à la situation où la puissance optique totale due à tous les canaux à l'entrée du segment de fibre est suffisamment grande pour affecter le gain du canal on-off. Dans un grand nombre d'applications de DRA à contre-propagation, cette situation ne se produit pas, car la dispersion Raman s'effectue à l'extrémité du segment de fibre après un affaiblissement significatif des canaux. Toutefois, il peut être pertinent pour les applications impliquant des portées de fibre relativement courtes (< 80 km) et/ou un grand nombre de canaux. D'autre part, l'appauvrissement de pompage est presque toujours associé à des applications de DRA en copropagation, car dans ce cas, la dispersion Raman se produit au début du segment de fibre où la puissance de canal est importante.
- b) Interaction Raman canal à canal – Ceci se réfère au transfert de puissance de canaux de longueur d'onde inférieure vers des canaux de longueur d'onde supérieure, dû à la dispersion Raman stimulée. Cet effet ne se produit que pour une puissance de canal suffisamment grande et ne concerne généralement que le DRA en copropagation. Ceci est dû au fait que les puissances de canal sont déjà importantes à l'entrée du segment de fibre et sont encore amplifiées par le DRA. Ainsi, les puissances de canal le long du segment peuvent atteindre un niveau suffisant pour provoquer une interaction Raman canal à canal significative. Dans ce cas, non seulement le gain Raman on-off inclut l'effet direct de la puissance de pompage, mais également l'effet secondaire de l'interaction canal à canal. Ainsi, le gain du canal on-off dépend à la fois de la puissance et de la configuration de longueur d'onde de tous les canaux.

Bibliographie

IEC 61290-3, *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essai – Partie 3: Paramètres du facteur de bruit*

IEC 61290-10-4: *Amplificateurs optiques – Méthodes d'essais – Partie 10-4: Paramètres à canaux multiples – Méthode par soustraction de la source interpolée en utilisant un analyseur de spectre optique*

IEC TR 61292-6, *Optical amplifiers – Part 6: Distributed Raman amplification*
(disponible en anglais seulement)

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch